

# UNIVERSIDAD DEL SALVADOR

## FACULTAD DE INGENIERÍA



USAL  
UNIVERSIDAD  
DEL SALVADOR

Materia: Proyecto final de ingeniería en informática

Carrera: Ingeniería en informática

Profesores: Horacio Lurati Irurzun, Joaquín Zajac

Alumno: Javier Eduardo Puig

Año: 2017

Tema: Eye Tracking

## RESUMEN

El presente trabajo se encargará de investigar la tecnología llamada Eye Tracking (seguimiento ocular), basada en el rastreo y posicionamiento de los ojos, pestañas y cejas, tanto en el ámbito del software como del hardware.

El desarrollo de este trabajo tomó como puntos de interés la aplicación de la tecnología en el campo de la medicina. El análisis se centra mayormente en los saltos evolutivos que ha logrado en dicho campo, la descripción de su software y las metodologías con las cuales este se desarrolla.

Para llevar a cabo esta investigación, se consultó bibliografía, artículos de internet y otras investigaciones relacionadas.

Palabras Clave:

Eye tracking, seguimiento ocular, ojos, rehabilitación



## ABSTRACT

The present work will be responsible for investigating the technology called Eye Tracking (eye tracking), based on the tracking and positioning of the eyes, eyelashes and eyebrows, both in the field of software and hardware.

The main point of interest of this work is the application of such technology in the field of study of medicine. Its analysis main focus is evolution achieved on this particular field, the description of the software used and the methodologies practiced during its development.

To carry out this research, bibliography, internet articles and other related researches were consulted.



# ÍNDICE

RESUMEN .....	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE .....	4
TABLA DE ILUSTRACIONES.....	5
INTRODUCCIÓN .....	7
MARCO METODOLÓGICO.....	8
MARCO TEÓRICO.....	9
Anatomía del ojo .....	9
Surgimiento del seguimiento ocular.....	13
Áreas de aplicación del Eye Tracking.....	17
Que se entiende Eye Tracking .....	19
CAPITULO 1 - OFTALMOLOGÍA .....	21
Estudio de movimientos oculares .....	21
Estudios estéticos.....	30
CAPITULO 2 – PSIQUIATRÍA .....	38
Estudios sobre la depresión .....	38
El rendimiento cognitivo en niñas con síndrome de Rett.....	46
CAPITULO 3 – REHABILITACIÓN.....	51
Eye tracking como mouse .....	51
Eye Tracking para rehabilitación de Accidentes cerebrovasculares .....	60
Rehabilitación de niños afectados con CVI.....	89
Sistema de comunicación para personas con tetraplejía .....	100
CONCLUSIÓN.....	113
BIBLIOGRAFÍA.....	114

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Fig 1 - Anatomía del ojo .....	9
Fig 2 - Anatomía del ojo. ....	10
Fig 3 - Músculos del ojo.....	11
Fig 4 - Fóvea y concentración de conos y bastones.....	12
Fig 5 - Movimiento sacádico.....	13
Fig 6 - Eye tracker creado por Aflred Yarbus. ....	14
Fig 7 - Posiciones de la vista según la investigación. ....	14
Fig 8 - Eye tracking de los años '90. ....	16
Fig 9 - Estudios de marketing con Eye Tracking.....	17
Fig 10 - Listado y descripción de los comandos principales disponibles en Eyelink Toolbox. ....	23
Fig 11 - Listado de los campos principales disponibles.....	24
Fig 12 - Proceso de seguimiento ocular: el experimentador (A) controla el proceso a través de 3 monitores (B); participante (C) está sentado frente a la pantalla de la computadora del sistema de seguimiento ocular (D). ....	31
Fig 13 - Escala de edades.....	32
Fig 14 - Escala de fatiga. ....	32
Fig 15 - Estímulo de imagen de cara completa con zonas de mirada y puntos de observación predefinidos. ....	34
Fig 16 - Porcentaje de tiempos de fijación en LookZones. ....	34
Fig 17 - Prueba de muestras pareadas para clasificación de edad. ....	35
Fig 18 - Prueba de muestras pareadas para el índice de fatiga. ....	36
Fig 19 - Correlaciones entre las zonas de observación de la clasificación por edad y la clasificación de la fatiga. ....	37
Fig 20 - Representación de datos reales que retrata el patrón de movimiento ocular de un participante en un ensayo experimental.....	39
Fig 21 - Tobii TX-120.....	40
Fig 22 - Diferencias en características demográficas y clínicas entre grupos. ....	42
Fig 23 -Primera duración de fijación.....	43
Fig 24 - Tiempo total de fijación. ....	44
Fig 25 - Correlaciones bivariadas entre las puntuaciones de sesgo atencional y depresivo síntomas.....	45
Fig 26 - Síndrome de Rett en niñas.....	47
Fig 27 - Resultados de las tareas. ....	49
Fig 28 - Eye Tracker colocado sobre un paciente. ....	52
Fig 29 - Eye Tracker mouse software.....	53
Fig 30 - Eye Tracker mouse software.....	55
Fig 31 - Variación del centro de la pupila usando ETAST. ....	56
Fig 32 - Algoritmo ETAST. ....	57
Fig 33 - Mascara. ....	58
Fig 34 - Modelo de interferencia del estado mental. ....	62
Fig 35 -Tobii T120.....	65
Fig 36 - Tobii T120 especificaciones técnicas. ....	65

Fig 37 - Punto de observación. ....	67
Fig 38 - Ejemplo de aplicación de AnTS. ....	68
Fig 39 - Vista de RehabNet Control Panel. ....	68
Fig 40 - Patrón de puntos de calibración usados en el módulo. ....	70
Fig 41 - Muestra de los 4 pasos de la tarea virtual. ....	71
Fig 42 - Posiciones iniciales de la bola. ....	72
Fig 43 - Lista de características de los pacientes del estudio. ....	74
Fig 44 - Calibración del entorno virtual con un paciente. ....	75
Fig 45 - Resumen del protocolo experimental del primer estudio. ....	76
Fig 46 - Mapa de densidad para la acción de observación y la acción de ejecución. ....	77
Fig 47 - Métricas medias de las miradas. ....	78
Fig 48 - Métricas medias de las miradas. ....	80
Fig 49 - Mapeo de la densidad de la acciones para condiciones normales. ....	81
Fig 50 - Mapeo de la densidad de la acciones para condiciones limitadas. ....	82
Fig 51 - Métricas medias de las miradas en condiciones normales. ....	83
Fig 52 - Métricas medias de las miradas en condiciones limitadas. ....	83
Fig 53 - Prueba de concepto del enfoque. ....	86
Fig 54 - Concepto de implementación de enfoque en basado en objetos. ....	87
Fig 55 - Prueba de concepto del enfoque. ....	94
Fig 56 - Interfaz de HelpMe! ....	96
Fig 57 - Mirada del paciente. ....	103
Fig 58 - Paciente mirando hacia arriba ....	104
Fig 59 - Paciente mirando hacia abajo ....	104
Fig 60 - Arquitectura del sistema. ....	105
Fig 61 - Diagrama de contexto. ....	106
Fig 62 - Caso de uso. ....	106
Fig 63 - Diagrama de clases. ....	107
Fig 64 - Categorías iniciales. ....	108
Fig 65 – Subcategorías. ....	109
Fig 66 – Teclado. ....	110

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, parte del estudio de la tecnología se ha puesto al servicio del estudio y el avance de la medicina. Dicha colaboración, en su constancia, ha permitido el estudio de campos cada vez más específicos donde la tecnología puede colaborar con la evolución de la medicina. Uno de estos tantos campos de estudio se centra en el desarrollo de tecnología de seguimiento ocular, o Eye Tracking. Dicha tecnología es el punto de interés del análisis de este trabajo.

¿En qué campos de la medicina se aplica la tecnología de eye tracking y como se utilizan los diferentes dispositivos para cumplir con los objetivos en cada área? Para responder esta pregunta, el siguiente trabajo se dividirá en 2 etapas, el marco teórico y el desarrollo propiamente dicho. Una vez finalizada esta investigación, se realizará una conclusión acerca del potencial futuro de esta tecnología. ¿Cómo podría mejorarse, desde la ingeniería informática, la tecnología del Eye Tracking, para optimizar el uso de las aplicaciones existentes e incorporar nuevas funcionalidades para el diagnóstico, tratamiento y asistencia de los pacientes?

Dentro del marco teórico se estudiará la historia de esta tecnología, cuáles fueron sus orígenes y como comenzó involucrarse con la informática. También se realizará una introducción de la anatomía normal del ojo humano para contextualizar algunos conceptos que se verán más adelante. Y por último se describirán otras áreas, fuera de la medicina, donde también se aplica esta tecnología.

En los distintos capítulos de este trabajo se estudiarán específicamente los campos de la medicina, en los que se aplica la tecnología del seguimiento ocular, como se utilizan los distintos dispositivos y que softwares se encuentran disponibles para cada área específicamente.

Los objetivos de este trabajo son: investigar cómo fueron evolucionando los diferentes equipos tanto en lo referido al hardware como al software y como fueron incorporándose a los distintos campos de la medicina ya sea como herramienta de estudio o de rehabilitación.

## MARCO METODOLÓGICO

Este trabajo es de tipo descriptivo, ya que se buscará exponer los distintos ámbitos de la medicina en los que se aplica el seguimiento ocular.

Se utilizarán tanto fuentes bibliográficas, como fuentes de publicaciones web, papers, tesis, y de ser posible, entrevistas con diferentes expertos en el tema.

Si bien la tecnología de Eye Tracking lleva muchos años en el foco de los investigadores, esta investigación se centrará en los últimos 17 años, es decir, a partir del año 2000, que a criterio del investigador, es el momento en donde la tecnología informática realmente pudo demostrar los avances suficientes como para acompañar los desarrollos de esta tecnología en particular.





## MARCO TEÓRICO

### Anatomía del ojo

Para comprender el objeto de estudio, es fundamental interiorizarse previamente en las partes involucradas, en este caso, el ojo humano.

El órgano esencial del sentido de la vista es el globo ocular, y más especialmente una de sus membranas, la retina, en la cual se encuentran reunidos los aparatos nerviosos terminales destinados a percibir las impresiones luminosas.

El ojo, es un órgano par, simétricamente colocado en la base de la órbita, y tiene la forma de una esfera ligeramente aplanada hacia abajo. El ojo pesa de 7 a 7,5 gramos aproximadamente.

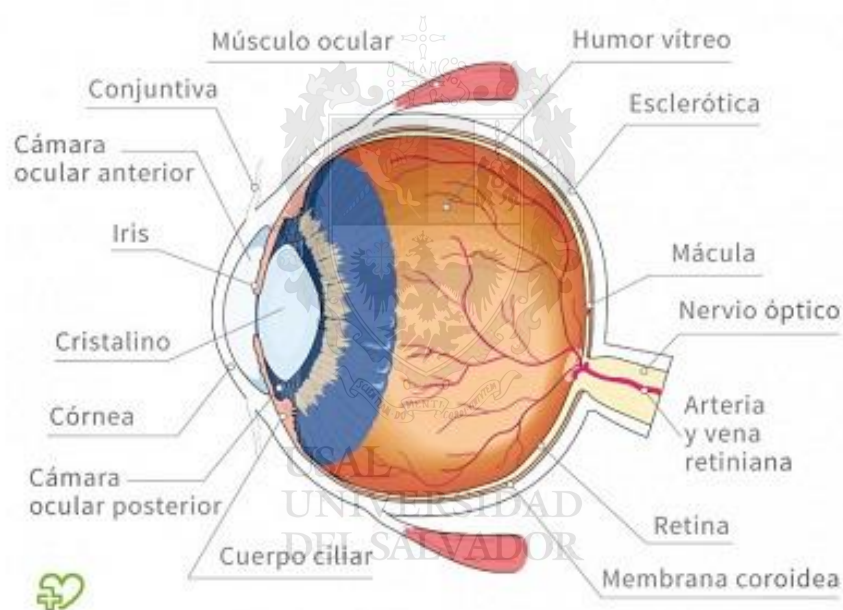


Fig 1 - Anatomía del ojo

El ojo se compone de 3 túnicas concéntricas que son, de fuera hacia adentro, la túnica fibrosa, la túnica vascular y la túnica nerviosa, y 3 medios transparentes, que son en el mismo orden, el humor acuoso, el cristalino y el cuerpo vítreo.

Dentro de la túnica fibrosa del ojo podemos encontrar 2 porciones, la esclerótica y la córnea. La túnica vascular se divide en 3 partes, coroides, zona ciliar e iris. Por último la túnica nerviosa del ojo, que es donde se aloja la

retina (que también se divide en 3 partes).

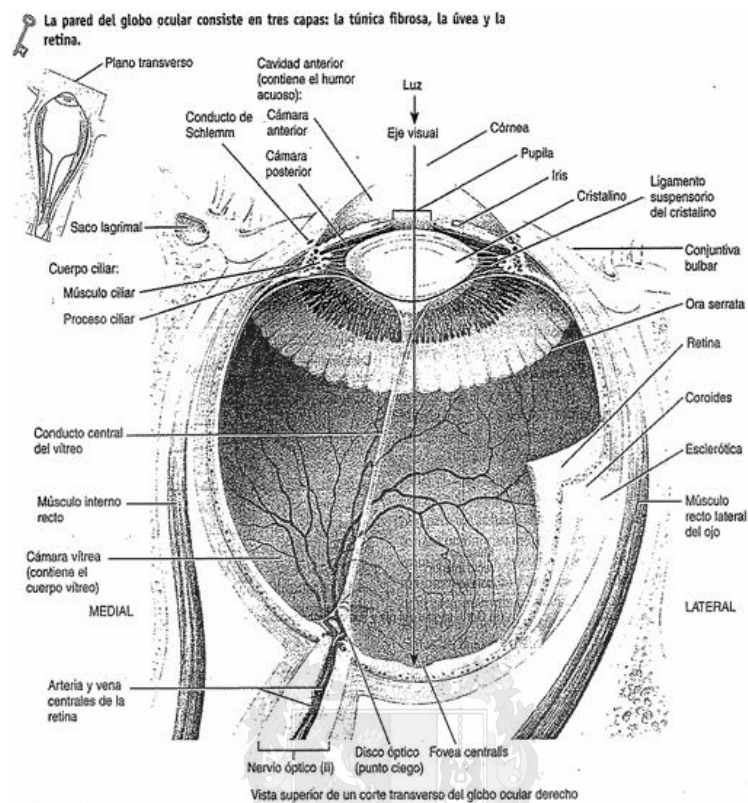


Fig 2 - Anatomía del ojo.

Accesoriamente la órbita cuenta con una serie de músculos especializados en el movimiento de los globos oculares. Estos músculos son:

- ❖ Músculo elevador del párpado superior: es el encargado de levantar el párpado superior y descubrir de este modo la córnea y una porción de la esclerótica.
- ❖ Músculos rectos del ojo: son en número de cuatro y se dividen en superior, inferior, interno y externo. Estos cuatro músculos obran sobre el globo ocular. El recto superior lleva la córnea hacia arriba y algo hacia adentro; el recto inferior, abajo y algo adentro. El recto interno, hacia adentro; y el recto externo hacia afuera.
- ❖ Músculos oblicuos del ojo: son en número de dos, el oblicuo mayor y el oblicuo menor. El mayor mueve la córnea hacia fuera y abajo y el menor la mueve hacia dentro y arriba.



Fig 3 - Músculos del ojo.

Por último, como parte de la órbita ocular, podemos encontrar, las cejas, los párpados, la conjuntiva y el aparato lagrimal.

Con un enfoque más funcional, la retina, es la zona donde se hallan las células fotorreceptoras que convierten la luz en señales nerviosas. Para poder ver una imagen definida, la luz refractada por el cristalino debe formar la imagen sobre la retina. Existen allí dos tipos de fotorreceptoras: los conos y los bastones. Los conos son los responsables de la visión en colores, mientras que los bastones detectan intensidad de luz.

Sin embargo, la forma en que estos fotorreceptores están distribuidos a lo largo de la retina no es uniforme: existe una mayor concentración de conos en el centro de la retina, mientras que los bastones se encuentran en la periferia. La zona central, compuesta únicamente por conos, se conoce como fovea, y es el punto de máxima resolución de la retina. El ángulo visual que abarca la fovea son los 2° centrales alrededor del punto de fijación. A medida que nos alejamos de la fovea, la resolución espacial disminuye rápidamente y no se distinguen los colores. La zona inmediatamente cercana a la fovea es la parafovea, en la cual aún es posible recolectar valiosa información para la lectura y el resto de la fovea es la perifovea, de donde prácticamente no es posible extraer información relevante de lectura.